



**Dalberg**

# Proposition d'une stratégie d'organisation pour la filière de gestion des déchets solaires au Sénégal

---

## Scénarios stratégiques et plan de cadrage

Août 2021

Programme Energies Durables (P.E.D.)  
Energising Development (EnDev)

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

# Table des matières

<b>Sigles et acronymes .....</b>	<b>2</b>
<b>Préambule .....</b>	<b>3</b>
<b>I. Potentiel de valorisation des déchets solaires .....</b>	<b>4</b>
1.1 Options de gestion et de valorisation.....	4
1.2 Potentiel économique.....	6
<b>II. Scénarios stratégiques.....</b>	<b>11</b>
<b>III. Questions structurantes juridiques et organisationnelles .....</b>	<b>15</b>
3.1 Options organisationnelles et juridiques .....	15
3.2 Implications du scénario retenu .....	20
<b>IV. Recommandations pour la filière de gestion des déchets solaires au Sénégal .....</b>	<b>21</b>
4.1 Recommandations transverses .....	21
4.2 Recommandations spécifiques par type d'équipement .....	24
4.3 Plan de cadrage .....	25
<b>V. Annexes.....</b>	<b>31</b>
Annexe 1 : Benchmarks .....	31
Annexe 2 : Hypothèses de calcul des potentiels économiques.....	36

## SIGLES ET ACRONYMES

Acronymes	Définition
ANER	Agence Nationale des Energies Renouvelables
ASN	Association Sénégalaise de Normalisation
ASER	Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale
BOT	Build Operate Transfer
BOO	Build Own Operate
BTP	Bâtiments et Travaux Publics
CER	Concession d'Electrification Rurale
COPERES	Conseil Patronal des Energies Renouvelables du Sénégal
CT2S	Centre de Test des Systèmes Solaires
DEEE	Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques
EnDev	Energising Development
ERIL	Electrification Rurale d'Initiative Locale
ERSEN	Projet d'Electrification Rurale Sénégal
GIZ	Agence allemande pour la coopération internationale
IPP	Independent Power Producer
Li	Lithium
MATS	Ministère de l'Artisanat et de la Transformation du Secteur informel
MEDD	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
MEFPAI	Ministère de l'Emploi, de la Formation Professionnelle, de l'Apprentissage et de l'Insertion
MESRI	Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
MPE	Ministère du Pétrole et des Energies
NiMH	Nickel-hydrure métallique
PED	Programme Energies Durables
PV	Photovoltaïque
SENELEC	Société Nationale d'Electricité du Sénégal

## PREAMBULE

Le Sénégal s'est engagé, depuis plus de dix ans, à améliorer l'accès à l'énergie à travers ses programmes nationaux d'électrification. Les sources d'énergies renouvelables, dont le solaire photovoltaïque (PV), constituent une des réponses à la demande croissante de la consommation énergétique au Sénégal. Les installations solaires, présentes sous de multiples formes à travers le pays, se transforment, au terme de leur vie, en Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE), constitués à la fois de composants toxiques (plomb, mercure, cadmium), de plastiques et de métaux de base tels que l'acier, l'aluminium ou le cuivre. Certains de ces matériaux peuvent être recyclés ; d'autres, qualifiés de dangereux, représentent une menace importante pour l'environnement et la santé des personnes – et requièrent à ce titre une gestion efficace.

L'objectif de ce document est de poser les jalons de l'organisation future de la filière des déchets solaires au Sénégal. L'enjeu est d'asseoir le développement à long terme d'une filière durable, inclusive et viable financièrement - ce, en anticipant la mise en place d'un cadre juridique et organisationnel favorable à ce développement.

Il fait suite à un document d'état des lieux de la filière, qui (i) estime la quantité de déchets solaires arrivant sur le marché à horizon 2050 – par type d'installation et par type d'équipement ; (ii) examine les rôles et responsabilités des différents acteurs du solaire, depuis les activités d'installation jusqu'à leur démantèlement et la gestion des déchets ; (iii) étudie le cadre politique et juridique pertinent pour la filière, ainsi que les développements à anticiper.

Sur la base de l'état des lieux, ce document (i) évalue plusieurs scénarios de valorisation économique des déchets solaires ; (ii) en dégage les implications organisationnelles et juridiques ; et (iii) propose des recommandations pour un cadre favorable au développement d'une filière durable, incluant un plan d'actions transverses et par type d'équipement.

La mise en place d'un tel cadre constitue autant d'opportunités d'investissement, de mise à niveau, et de renforcement de capacités des acteurs de la filière. Il met l'accent sur la valorisation locale et l'inclusion d'une majorité d'acteurs, tout en visant au pragmatisme et au réalisme des solutions proposées, d'un point de vue à la fois technique et financier.

# I. POTENTIEL DE VALORISATION DES DECHETS SOLAIRES

Cette section recense différentes opportunités de valorisation des déchets solaires dans le contexte du Sénégal, et évalue leur potentiel économique dans la perspective d’informer sur la sélection d’un scénario optimisé pour la filière.

## 1.1 Options de gestion et de valorisation

La plupart des composants contenus dans les équipements solaires sont recyclables. Dans le contexte du Sénégal, deux options principales existent pour chaque type de déchets solaires générés :

- L’export des déchets pour traitement et recyclage à l’étranger ;
- Le traitement partiel ou total des déchets sur le territoire, à travers des solutions existantes ou à développer.

Des nuances existent par types de déchets, tel que synthétisé dans la figure ci-dessous, et détaillé ci-après.

Figure 1 : Synthèse des options de gestion et de valorisation considérées

Déchets	Méthodes de gestion et de valorisation considérées		
Panneaux solaires	1 Export des panneaux pour traitement à l'étranger	2 Pré-traitement local des panneaux	3 Recyclage partiel des panneaux en local
	4 Recyclage local des batteries plomb	5 Export des batteries lithium/NiMH pour recyclage	6 Recyclage local des batteries lithium/NiMH
	7 Recyclage local des équipements de conversion et de contrôle		
Batteries			
Equipements de conversion et de contrôle de l'énergie			
Equipements secondaires	8 Recyclage local des équipements secondaires		
Légende <div>             A développer             Existant           </div>			

### Panneaux solaires

Pour les panneaux solaires, trois options ont été identifiées.

#### Export des panneaux pour traitement à l'étranger

Cette méthode consiste en la collecte des panneaux en fin de vie pour les exporter vers les centres de recyclage existant à l'étranger. Les déchets de panneaux solaires seraient collectés et stockés au niveau d'un site intermédiaire. Une fois la quantité de déchets de panneaux solaires nécessaire pour

remplir un container de 40 pieds atteinte, une opération d'exportation serait organisée pour le recyclage en Europe (Belgique par exemple). Même s'il est techniquement possible de séparer le cadre aluminium avant l'expédition des panneaux, cette opération n'est pas recommandée. En effet, le coût de traitement appliqué par les centres européens serait alors plus élevé, pour prendre en compte la différence de revenu qui pourrait être tirée de la vente de l'aluminium.

### **Pré-traitement local des panneaux**

Une solution intermédiaire entre l'export et le recyclage local des panneaux, consisterait à effectuer un pré-traitement en local. Selon cette méthode, le cadre aluminium serait démantelé, et l'aluminium pourrait être vendu localement - puisque le Sénégal dispose d'une fonderie capable de valoriser les déchets aluminium. Le reste des panneaux serait broyé dans l'objectif d'être utilisé dans d'autres industries, telles que les bâtiments et travaux publics (BTP). A titre d'exemple, ce broyat pourrait être utilisé par les acteurs du BTP pour la construction de routes. A noter qu'une étude de marché devra être menée auprès des acteurs concernés au Sénégal, pour confirmer leur capacité et leur intérêt à utiliser ce type de déchets (ainsi que le potentiel économique).

### **Recyclage partiel des panneaux en local**

Le recyclage à l'échelle industrielle des modules photovoltaïques est peu généralisé au niveau international - des usines ayant été recensées en France, en Belgique, aux Etats Unis, en Allemagne, en Malaisie, en Afrique du Sud et au Japon à ce stade. Le recyclage partiel des panneaux solaires en local serait possible à travers l'achat de la technologie auprès de l'un de ces fournisseurs étrangers. Cette technologie permet de séparer les différents composants du panneau solaire : verre, cadre aluminium, et plaque de cellules photovoltaïques. Les différentes matières pourraient ainsi être recyclées dans des filières de valorisation spécifiques :

- L'aluminium serait acheminé vers les fonderies d'aluminium en local ;
- Les plaques de cellules photovoltaïques seraient acheminées vers des raffineries au Japon (filière confirmée) ou en Europe (filière non confirmée à ce jour) ;
- Le verre serait séparé et mis en décharge localement en attendant la disponibilité d'une solution de valorisation locale (verrerie).

Un recyclage total des différents composants des panneaux solaires au Sénégal impliquerait par ailleurs la mise en place de filières de recyclage du verre et de valorisation des plaques de cellules photovoltaïques au Sénégal.

## **Batteries**

Pour les batteries, la proposition est de capitaliser sur le savoir-faire existant en termes de valorisation des batteries au plomb au Sénégal, et d'étudier deux options pour les batteries au lithium/NiMH.

### **Recyclage local des batteries au plomb**

Deux acteurs sont déjà actifs sur le recyclage des batteries au plomb au Sénégal. Gravita est en train d'étendre ses capacités de traitement. Solance, en cours d'installation, prévoit de prendre en charge à la fois le recyclage de batteries, et la production de nouvelles batteries au plomb à partir des déchets issus de ce recyclage. Ces deux initiatives pourront être appuyées dans la prise en charge des déchets solaires à venir, permettant leur montée en capacité de traitement dans le respect des bonnes pratiques environnementales ; de nouveaux acteurs, le cas échéant, pourraient également être accompagnés sur cette filière (ou d'autres, à explorer, telles que la recharge de batteries usagées).

## Exportation des batteries lithium/NiMH pour recyclage

Comme pour l'exportation des panneaux solaires, une option consisterait à collecter les déchets de batteries au lithium/NiMH en vue de leur exportation vers des filières de traitement spécialisées en Europe. Cette méthode n'implique aucune valorisation en local.

Il est à noter que les batteries au lithium présentent des risques de feu – aussi, en cas d'export, des précautions particulières de conditionnement devront être prises pour le stockage et le transport (conditionnement dans du sable). Certains transporteurs pourraient de plus être réticents à assurer le transport de ce type de déchets.

## Recyclage local batteries lithium/NiMH

Une option alternative serait de mettre en place une infrastructure de recyclage mutualisée pour les batteries au lithium et NiMH au Sénégal, puisqu'il est a priori possible d'utiliser le même procédé pour traiter ces deux types de batteries (à confirmer au travers d'études techniques)<sup>1</sup> :

- Pour les batteries au lithium, cette technologie est capable de séparer leurs différentes composantes : poudre noire, et poudre d'aluminium, de cuivre et de fer. Le fer, l'aluminium et le cuivre pourraient être valorisés en local. La poudre noire serait quant à elle valorisée à l'exportation, en Chine ou en Europe.
- Pour les batteries NiMH, il est possible de séparer et de valoriser le fer et le nickel. Cependant, il conviendra de confirmer l'existence d'un marché du nickel recyclé en Afrique de l'Ouest.

## Autres équipements

Les équipements de conversion et de contrôle de l'énergie, et les équipements secondaires pourront rejoindre la filière classique de gestion des déchets électroniques qui assurera leur prise en charge.

## 1.2 Potentiel économique

Pour chacune des opportunités de gestion et de valorisation identifiées, le potentiel économique a été évalué à travers une macro-estimation des coûts d'investissements, des coûts opérationnels et des revenus potentiels. Les projections des volumes de déchets à horizon 2050 permettent en outre de calculer le delta financier aux bornes de la filière – donnant une indication du support financier qui pourrait être requis pour la mise en place des différentes options.

### Définitions et méthodologie générale de calcul du potentiel économique

*Coûts d'investissement* : intègrent les coûts d'achat de terrain, d'aménagement et de construction de bâtiments nécessaires aux activités de stockage et de traitement des déchets ; les coûts d'étude d'ingénierie ; et enfin les coûts d'équipement et de formation des opérateurs.

*Coûts opérationnels (par tonne de déchets)* : intègrent les coûts de démantèlement des installations solaires et de collecte<sup>2</sup> ; et, en cas d'export, les coûts de transport par bateau et de reprise par le recycleur ; en cas de traitement local, les coûts d'électricité requis pour le fonctionnement des équipements et les coûts salariaux des opérateurs.

<sup>1</sup> Granata et al, Simultaneous recycling of nickel metal hydride, lithium ion and primary lithium batteries: Accomplishment of European Guidelines by optimizing mechanical pre-treatment and solvent extraction operations, 2012

<sup>2</sup> Transport en camion ; distance moyenne parcourue estimée à 350km

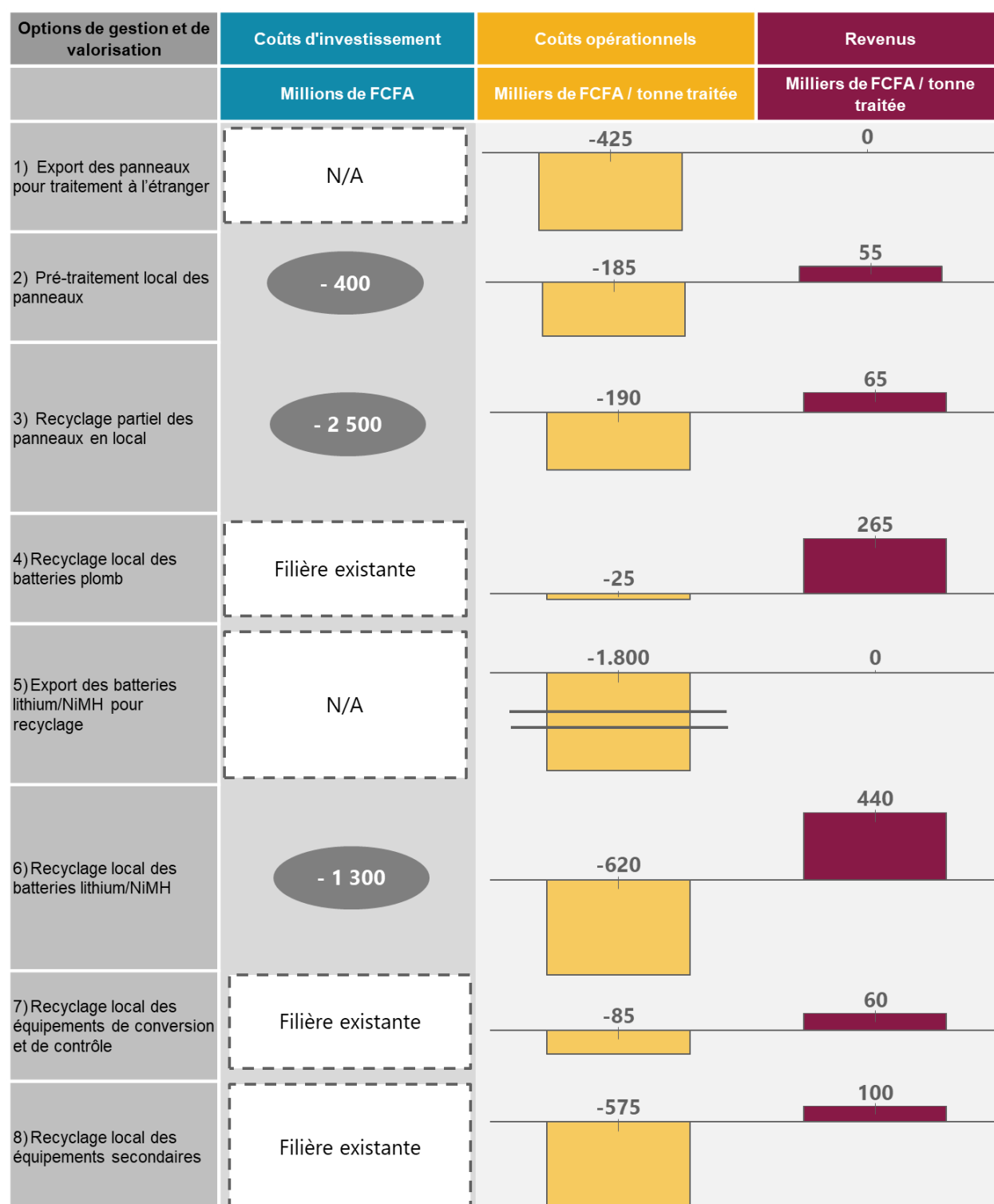


*Revenus potentiels (par tonne de déchets) :* intègrent les revenus issus de la revente des fractions valorisables des déchets solaires. A noter qu'en cas d'export des fractions valorisées, les coûts de transport international sont pris en compte.

*Delta financier :* évalue la différence entre les revenus potentiels et les coûts d'investissement/opérationnels, sur base du volume de déchets générés à horizon 2050.

Le détail des chiffres ayant servi au calcul du potentiel économique est disponible en Annexe 2. La synthèse des coûts et revenus de chacune des options est présentée dans la figure ci-dessous.

Figure 2 : Synthèse du potentiel économique des déchets solaires





**La majorité des options de gestion et de valorisation considérées nécessiteront un support financier pour être viable.** Seul le recyclage des batteries au plomb est rentable dès les premières tonnes traitées, ne nécessitant aucun investissement initial au vu des structures existantes. Pour l'ensemble des autres options, l'identification d'un mode de financement sera clé pour le développement pérenne de la filière.

Tableau 1 : *Delta financier à horizon 2050 (arrondis)*

Méthode de gestion/valorisation	Delta financier à horizon 2050	Delta financier par tonne traitée
	Milliards de FCFA	Milliers de FCFA par tonne
1) Export des panneaux pour traitement à l'étranger	-12	-425
2) Pré-traitement local des panneaux	-4	-150
3) Recyclage partiel des panneaux en local	-6	-210
4) Recyclage local des batteries plomb	Filière rentable	
5) Export des batteries lithium/NiMH pour recyclage <sup>3</sup>	-22	-1800
6) Recyclage local des batteries lithium/NiMH <sup>4</sup>	-4	-265
7) Recyclage local des équipements de conversion et de contrôle	-0,2	-30
8) Recyclage local des équipements secondaires	-1	-470

## Panneaux solaires

Pour l'export des panneaux solaires, les coûts à prendre en compte concernent le transport et la reprise des équipements. En considérant le volume total de panneaux solaires à traiter à horizon 2050, cette option représente des coûts allant jusqu'à ~12 milliards de FCFA pour la filière, avec peu de retombées positives pour les acteurs locaux - que ce soit en termes de création d'activités, d'emplois ou de montée en compétences.

Le prétraitement local des panneaux solaires nécessite quant à lui un financement d'environ 4 milliards de FCFA pour être viable à horizon 2050. Il conviendra en outre d'explorer l'existence de marchés de reprise des panneaux broyés (le potentiel économique de cette option est donc potentiellement sous-estimé). L'aluminium pourra rejoindre la filière fonderie en local et les câbles la filière DEEE existante.

Le recyclage partiel des panneaux solaires au niveau local représente un coût total d'environ 6 milliards de FCFA à horizon 2050. Néanmoins, une fois les investissements de départ réalisés, la marge

<sup>3</sup> Hypothèse : Les coûts de traitement à l'export des batteries NiMH sont dans le même ordre de grandeur que pour les batteries lithium. Le coût pour les batteries NiMH est donc potentiellement sous-estimé.

<sup>4</sup> Hypothèse : Les coûts opérationnels du traitement local des batteries NiMH sont dans le même ordre de grandeur que pour les batteries lithium.

par tonne est supérieure avec cette méthode que dans celle du prétraitement. Avec la majorité du volume arrivant sur le marché en 2045, cette solution deviendrait plus rentable – aussi la création d'un hub pour le traitement des panneaux solaires au niveau de la sous-région pourrait être envisagée à terme.

## Batteries

Pour les batteries au plomb, la filière existante est rentable pour les deux acteurs en place, qui confirment avoir des capacités suffisantes pour absorber le volume de déchets à venir.

L'export des batteries au lithium et des batteries NiMH s'avère extrêmement coûteux (notamment du fait de la cherté du transport, car le matériel est dangereux, ainsi que le coût de traitement) – s'élevant à un coût total de 22 milliards de FCFA à horizon 2050.

Au regard de ces coûts, une solution de recyclage en local est à envisager. Il est à noter cependant que le recyclage local ne sera pas rentable en tenant seulement compte des batteries des équipements solaires. En effet, celles-ci sont principalement composées de batteries lithium-ion phosphate dont la valeur de la poudre noire est nettement inférieure à celles des téléphones mobiles et des ordinateurs portables. Il serait ainsi économiquement intéressant de combiner le recyclage des batteries des équipements solaires à celui des batteries de téléphones mobiles et ordinateurs portables. Le Nigéria va expérimenter en 2021 une technologie similaire à celle chiffrée dans cette étude, qu'il conviendra de suivre pour confirmer la rentabilité du modèle.

Enfin, les batteries NiMH nécessitant aussi un traitement par hydro ou pyrométallurgie pour être recyclées, ce traitement pourrait a priori être mutualisé avec celui des batteries au lithium. Pour les batteries NiMH, les principaux revenus proviendront de la revente de nickel et de fer recyclé. .

*Il est à noter que dans le cadre de cette étude :*

- *L'hypothèse prise (à confirmer via une étude technique plus détaillée) est que les coûts de transport et de traitement (pour export), de même que les coûts de recyclage, sont du même ordre de grandeur pour les batteries au lithium et NiMH*
- *Les volumes intègrent bien les deux types de batterie, selon les prévisions de leur arrivée sur le marché des déchets à horizon 2050*
- *Les revenus spécifiques issus du recyclage des batteries NiMH sont bien pris en compte*

## Equipements de conversion et de contrôle de l'énergie

Le recyclage des équipements solaires de conversion et de contrôle de l'énergie ne nécessite pas de technologies spécifiques par rapport à la filière classique des DEEE. Leur démantèlement est manuel, certaines fractions sont revendues localement et seules les cartes sont exportées.

Cependant, au vu du ratio cartes/plastique, le recyclage des onduleurs représente un centre de coût : bien que des investissements supplémentaires ne soient pas nécessaires en termes de process, il sera nécessaire de subventionner la filière pour la rendre viable. L'estimation réalisée fait ressortir un besoin de subvention d'environ 200 millions de FCFA à horizon 2050.

## Equipements secondaires

Les téléviseurs, les ventilateurs et les lampes représenteront 99% des déchets solaires secondaires (générés dans le cadre de kits intégrés) à horizon 2050. L'estimation réalisée fait ressortir un besoin de subvention d'environ 1 milliard de FCFA, mais différents niveaux de rentabilité existent en fonction des types d'équipements considérés.

Les téléviseurs contiennent des produits toxiques – dans l'écran - et nécessitent un recyclage dans des filières spécialisées en Europe. Aujourd'hui l'écran et les cartes sont exportées, pour traitement à l'étranger. La filière locale de recyclage des DEEE prend déjà en charge les téléviseurs et peut inclure ceux provenant de la filière solaire. Le processus de recyclage comprend un démantèlement manuel (avec les précautions de sécurité de rigueur pour la filière), la séparation des matières et des activités de revalorisation. Il n'est donc pas nécessaire aujourd'hui d'investir dans une infrastructure dédiée de recyclage des téléviseurs, à moins de la consacrer au traitement des écrans. Actuellement le processus de recyclage est rentable, seul l'écran est un centre de coût.

Les ventilateurs ne nécessitent pas de traitement spécifique et contiennent principalement du métal et du plastique. Il existe une filière non spécifique aux DEEE, majoritairement informelle et déjà active sur ce segment. Des passerelles vers le recyclage formel de plastique pourraient être envisagées à terme.

Enfin, concernant les lampes, une solution de prétraitement existe localement. Le verre est broyé et le mercure filtré, puis le verre est exporté vers un site de traitement et de recyclage. C'est un procédé non rentable qui nécessitera d'être subventionné.

## II. SCENARIOS STRATEGIQUES

Sur base des options de gestion et de valorisation des déchets solaires, trois scénarios stratégiques peuvent être envisagés à terme, chacun porteur d'une vision distincte pour le développement de la filière :

- **Un scénario ambitieux**, dont la priorité est le développement de filières locales de recyclage pour l'ensemble des déchets solaires générés. Dans ce scénario, des investissements sont effectués pour assurer un traitement de bout-en-bout au niveau local, pour tous les types d'équipements.
- **Un scénario minimaliste**, misant sur l'utilisation des capacités locales actuelles pour traiter le flux de déchets solaires arrivant sur le marché. Seuls les acteurs et technologies déjà présents sont mobilisés, permettant la gestion des batteries au plomb, des équipements de conversion et de contrôle d'énergie, ainsi que des équipements secondaires. Les déchets émanant de panneaux solaires et de batteries au lithium/NiMH seraient exportés, après identification de partenaires à l'étranger pouvant assurer leur gestion.
- **Un scénario optimisé**, intégrant des options intermédiaires de gestion des déchets solaires au Sénégal, dans la double optique de développement des capacités locales et de rentabilité de la filière à terme.

Les options de gestion et de valorisation des déchets constituant chacun des scénarios sont résumées dans la figure ci-dessous :

Figure 3 : Présentation des scénarios considérés

Méthodes de gestion et de valorisation considérées par type d'équipement	Scénarios	A Scénario ambitieux	B Scénario minimaliste	C Scénario optimisé
	Description	Développement d'une filière locale de recyclage pour l'ensemble des déchets solaires	Mobilisation des capacités de recyclage existantes et export pour le reste	Scénario intermédiaire (cible pour la stratégie de gestion des déchets solaires)
	Panneaux solaires	3 Recyclage partiel des panneaux en local	1 Export des panneaux pour recyclage à l'étranger	2 Pré-traitement local des panneaux
	Batteries	4 Recyclage local des batteries plomb		
		6 Recyclage local des batteries Li/NiMH	5 Export des batteries Li/NiMH pour recyclage	6 Recyclage local des batteries Li/NiMH
	Equipements de conversion et de contrôle de l'énergie	7 Recyclage local des équipements de conversion et de contrôle de l'énergie		
	Equipements secondaires	8 Recyclage local des équipements secondaires		

Ces scénarios stratégiques ont été évalués selon deux critères principaux : (i) le potentiel technique et financier d'implémentation de ces scénarios, (ii) leur potentiel d'impact sur les populations et l'environnement.

- (i) Le potentiel d'implémentation est évalué d'une part à travers le soutien financier requis pour développer la filière, et d'autre part à travers le potentiel de montée en capacité technique (développement de nouvelles technologies et compétences en local)
- (ii) Le potentiel d'impact est évalué en considérant le potentiel de génération d'activités économiques au niveau local, et la quantité de produits toxiques et de CO<sub>2</sub> évitée par chaque solution proposée.

Cette évaluation est présentée ci-dessous.

Figure 4 : Priorisation des scénarios stratégiques

Scénarios	Capacité d'implémentation		Potentiel impact	
	Delta financier à combler	Potentiel de développement technique	Indicateurs socio économiques	Impact environnemental
<b>A) Scénario ambitieux</b>	Nécessite 11 milliards de FCFA de support à horizon 2050, pour réaliser les investissements et couvrir les coûts d'opération	Potentiel de monter en compétences sur les technologies de recyclage, mais gap important sur les compétences disponibles	Création d'emplois dans des métiers porteurs (solaire, recyclage)	Potentiel de traiter localement des déchets composés de substances toxiques
<b>B) Scénario minimaliste</b>	Nécessite un soutien d'environ 35 milliards de FCFA à horizon 2050 pour financer transport et coût de traitement	Peu de développement technologique nécessaire	Faible niveau d'emplois créés dans le pays	Pollution environnementale additionnelle associée au transport
<b>C) Scénario optimisé</b>	Requiert environ 9 milliards de FCFA de support financier à horizon 2050	Potentiel élevé de monter en compétences sur les technologies de recyclage	Création d'emplois et appui à la filière locale et régionale du BTP	Potentiel de traiter localement des déchets composés de substances toxiques

Potentiel élevé
  Potentiel moyen
  Potentiel faible

Scénario priorisé pour la filière des déchets solaires

**Le scénario optimisé est priorisé pour la suite des travaux.** Il requiert de mobiliser ~ 9 milliards de FCFA pour le développement de la filière à horizon 2050. Bien que ce chiffre soit important, le scénario optimisé est plus intéressant d'un point de vue économique que le scénario minimaliste (paradoxalement le plus coûteux, à ~ 35 milliards de FCFA), et que le scénario ambitieux (~ 11 milliards de FCFA). Le scénario optimisé permet en outre une montée en compétence importante des acteurs locaux sur les technologies de base du recyclage (tel que le broyage des PV), mais aussi sur la filière de traitement des batteries au lithium et NiMH. L'utilisation potentielle des panneaux solaires dans l'industrie du BTP permettrait non seulement la création d'emplois dans le secteur du recyclage, mais interviendrait également en soutien à l'innovation dans la filière construction, à travers l'utilisation de nouveaux matériaux produits localement.

Avec seulement 2 milliards FCFA d'écart de financement nécessaire entre le scénario optimisé et le scénario ambitieux, d'autres critères sont à prendre en compte pour différencier ces deux options :

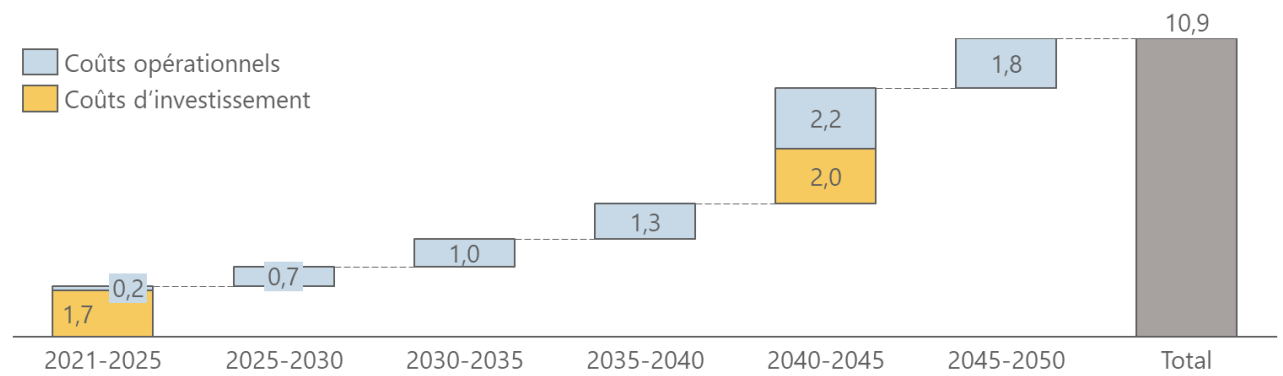
- D'une part, le scénario ambitieux repose sur des procédés techniques permettant la revalorisation des composants pour lesquels le Sénégal n'a pas aujourd'hui l'expertise
- D'autre part, le scénario ambitieux requiert un investissement de départ plus important – non justifié avant qu'un volume critique de déchets PV n'arrive sur le marché (à savoir, à horizon 2045)

**Une solution envisageable est donc de prioriser le scénario optimisé sur le court-terme, tout en développant les activités R&D permettant d'atteindre le scénario ambitieux à horizon 2040.** Cette solution est économiquement intéressante puisqu'elle permet de bénéficier des méthodes les plus rentables par rapport aux volumes arrivant sur le marché. Ainsi, le pré-traitement des panneaux et

l'usine de recyclage des batteries lithium/NiMH seraient mis en place rapidement, pour assurer un traitement local des panneaux et des batteries. A partir de 2040, les investissements dans une usine de recyclage partiel des panneaux seraient réalisés pour traiter le pic du volume (prévu pour 2045) et ainsi bénéficier des économies d'échelle d'une méthode de traitement présentant un faible coût opérationnel par panneaux.

Le séquençement des investissements requis pour opérationnaliser le scénario mixte précédemment décrit est présenté dans la figure ci-dessous.

Figure 5 : Echelonnement des investissements à horizon 2050, en milliards de FCFA (scénario mixte)



Note : La filière des batteries au plomb est exclue des calculs car considérée comme rentable.

**Pour financer cette filière, les panneaux solaires et les batteries au lithium nécessiteraient une subvention représentant entre 1 et 2 % du coût d'achat.** Cette subvention serait utilisée pour financer le traitement à la fin de vie. Seules les lampes raccordées aux kits solaires auraient besoin d'une subvention représentant un pourcentage important de leur prix de vente (car ce dernier est relativement faible), estimé à environ 13%. La synthèse des subventions nécessaires est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Ordre de grandeur des subventions nécessaires par type d'équipement

Type d'équipement	Coût de traitement par unité	% du prix de vente de l'équipement
	FCFA / unité	%
Panneaux solaires <sup>5</sup>	Environ 3k FCFA par panneau photovoltaïque	Environ 2 % du prix de vente d'un panneau
Batteries au plomb	Filière rentable	
Batteries au lithium <sup>6</sup>	Environ 20k FCFA par batterie	Environ 1 % du prix de vente d'une batterie

<sup>5</sup> Hypothèses : Pour des panneaux photovoltaïques de type ET Solar (20kg par module, 355Wc, prix de vente de 200k FCFA)  
<sup>6</sup> Hypothèses : Pour des batteries au lithium de type Vectron Energy (70kg par batterie, 24V / 200Ah, prix de vente de 3,2 millions de FCFA)

Equipements secondaires : Téléviseurs	Filière rentable	
Equipements secondaires : Lampes <sup>7</sup>	500 FCFA par lampe	Environ 13 % du prix de vente d'une lampe LED

*Note : Pour chaque type d'équipement, l'ordre de grandeur des subventions nécessaires a été défini sur base du volume à horizon 2050, du coût opérationnel de traitement estimé, et d'hypothèses de prix de vente. Ces estimations ne prennent pas en compte les coûts d'investissement qui seraient couverts par d'autres sources de financement. Par ailleurs, de nombreux facteurs sont à prendre en compte pour le calcul précis d'une écotaxe et le travail réalisé ci-dessus correspond à une évaluation de l'ordre de grandeur, et non à un travail permettant de précisément évaluer le montant de l'écotaxe pour chaque type d'équipement.*

---

<sup>7</sup> Hypothèses : Pour des lampes LED de 9W (prix de vente de 4000 FCFA)



### III. QUESTIONS STRUCTURANTES JURIDIQUES ET ORGANISATIONNELLES

Cette section examine les implications juridiques et organisationnelles du scénario priorisé selon trois axes :

- a) Quelle prise en compte des déchets solaires dans le cadre juridique national, pour assurer leur gestion long-terme à travers des mesures à la fois contraignantes et incitatives ?
- b) Quels modèles de financement et d'organisation, pour assurer la pérennisation de la filière ?
- c) Quelles mesures d'accompagnement des acteurs seront nécessaires pour une mise en œuvre effective de la filière ?

Le recensement de modèles récents de gestion des DEEE et des déchets solaires au niveau international, ainsi que l'analyse de leurs avantages et inconvénients permet d'éclairer la stratégie à mettre en place dans le contexte du Sénégal. Une synthèse de ces modèles est présentée ci-dessous, et les détails en Annexe 1.

#### 3.1 Options organisationnelles et juridiques

##### a) Prise en compte des déchets solaires dans le cadre juridique national

La plupart des pays intègrent les déchets solaires dans le cadre plus général de gestion des DEEE. Le rationnel de cette décision est lié au fait qu'une partie des déchets solaires entrent de facto dans les législations sur les déchets électroniques. En effet, un élément crucial à analyser dans les textes juridiques régissant les déchets électroniques est la définition et le périmètre des équipements considérés. Par exemple, selon le projet de loi kenyan<sup>8</sup>:

- Les « équipements électriques et électroniques » désignent les équipements destinés à la production, au transfert et à la mesure de courants et de champs électriques ;
- Les « déchets d'équipements électriques et électroniques » indiquent les déchets résultant des équipements électriques et électroniques à usage domestique et commercial, y compris les composants, sous-ensembles consommables qui font partie du produit lorsqu'il est éliminé.

Ainsi, les équipements de contrôle et de conversion de l'énergie et les équipements secondaires sont généralement inclus par défaut dans le champ d'application des législations sur les déchets électroniques. Cependant, les panneaux solaires et les batteries ne sont pas systématiquement listés.

Au Sénégal, le projet de décret portant sur la gestion des DEEE définit les équipements électriques et électroniques de la même manière que le projet de loi au Kenya, ouvrant des opportunités pour la prise en compte spécifique des déchets solaires. La définition prévue pour le projet de décret sur la gestion des DEEE au Sénégal est la suivante<sup>9</sup> :

- Equipement électrique et électronique (EEE) : tout équipement fonctionnant grâce à des courants électriques ou à des champs électromagnétiques et les équipements de production, de transfert et de mesure de ces courants et champs, conçus pour être utilisés à une tension ne dépassant pas 1 000 volts en courant alternatif et 1 500 volts en courant continu.

<sup>8</sup> GOGLA, E-waste Regulation and Compliance, 2019

<sup>9</sup> Gouvernement du Sénégal, Projet de décret relatif à la gestion des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), 2021

L'Allemagne, le Kenya, le Nigeria et le Royaume-Uni sont des exemples de pays ayant utilisé le cadre des DEEE existant pour y inclure (totalement ou partiellement) les produits solaires. A l'opposé, les Etats-Unis ont développé un cadre spécifique pour les déchets solaires, en ligne avec le caractère relativement décentralisé du cadre de gestion des DEEE. Il est ainsi plus simple pour certains Etats de mettre en place un cadre spécifique aux déchets solaires (comme en Californie), que « d'attendre » les mises à jour au niveau fédéral.

Ces différents exemples sont présentés ci-dessous.

Tableau 3 : Intégration des déchets solaires dans le cadre juridique des DEEE<sup>10</sup>

Pays	Prise en compte des déchets solaire	Détails du cadre réglementaire
Allemagne	Inclus parmi les DEEE	Les déchets solaires ont été ajoutés dans la loi sur les équipements électriques et électroniques à la suite d'une révision en 2015 pour refléter la modification de la directive européenne sur les DEEE <sup>11</sup>
Royaume-Uni	Inclus parmi les DEEE	Le Royaume-Uni a mis en place une catégorie distincte consacrée au financement de la collecte et du recyclage des panneaux photovoltaïques. Cette décision assure que les producteurs de panneaux solaires ne soient pas responsables du financement des activités de recyclage des autres DEEE, les panneaux solaires étant de loin les appareils les plus lourds utilisés par les ménages, et les obligations de financement étant indexées au poids des produits <sup>12</sup>
Kenya	Inclus partiellement parmi les DEEE	Le Kenya est l'un des marchés les plus dynamiques pour l'industrie solaire en Afrique. Le pays a entrepris un vaste programme pour la gestion des déchets électroniques, ainsi qu'un projet de loi pour la mise en place de la REP sur les DEEE <sup>13</sup> . Cependant, les déchets solaires ne sont que partiellement inclus, du fait de la définition et du périmètre des équipements considérés. Ainsi, les équipements de contrôle et de conversion de l'énergie et les équipements secondaires sont inclus, mais pas les panneaux solaires et les batteries
Nigeria	Inclus partiellement parmi les DEEE	Au Nigeria, la collecte des déchets électroniques générés à la fin de vie doit se faire conformément au principe de REP, en veillant à ce que ces déchets électroniques soient acheminés vers des entreprises de remise à neuf, de démantèlement ou de recyclage agréées <sup>14</sup> . Comme pour l'exemple du Kenya, les déchets solaires ne sont que partiellement pris en compte, les panneaux solaires n'étant pas spécifiquement mentionnés dans le projet de loi sur les DEEE

<sup>10</sup> ACE-TAF, E-Waste policy handbook, 2019

<sup>11</sup> IRENA, End of life panel management, 2016

<sup>12</sup> IRENA, End of life panel management, 2016

<sup>13</sup> GOGLA, E-waste Regulation and Compliance, 2019

<sup>14</sup> Woggsborg et al, Nigeria's E-Waste Management: Extended Producer Responsibility and Informal Sector Inclusion, 2019

Etats Unis	Définition d'un cadre spécifique pour les déchets solaires	La loi « Resource Conservation and Recovery Act » ne comporte pas d'exigences spécifiques pour les panneaux PV, cependant plusieurs états (comme la Californie et l'état de Washington), ont développés leur propre législation pour les panneaux solaires. <sup>15</sup>
------------	--	---

## b) Modèles de financement et d'organisation

Le financement de la filière des déchets solaires est généralement assuré par quatre types d'acteurs : (i) les producteurs, (ii) les consommateurs, (iii) le propriétaire des installations, et (iv) le gouvernement. Le tableau ci-dessous résume ces différentes options.

Tableau 4 : Méthodes de financement potentielles pour la filière de gestion des déchets solaires

Coût de recyclage financé par le :	Détails	Exemples de pays concernés
Producteur	Le producteur finance les activités du système de gestion des déchets en adhérant à un système national et en payant pour la récupération et le traitement, ou en développant son propre programme de gestion	Europe, Kenya, Maroc, Nigeria
Consommateur	Les consommateurs paient une taxe au moment de l'achat de l'équipement. La taxe est fixée en fonction des estimations des coûts de recyclage futurs, mais peut également être utilisée pour compenser les coûts de recyclage actuels	Allemagne et Californie pour le segment des panneaux solaires installés en résidentiel
Propriétaire	Le dernier propriétaire de l'installation paie une taxe pour les coûts de collecte et de recyclage à l'entité en charge de la collecte du produit en fin de vie	Japon
Gouvernement	Une société publique de financement distribue de l'aide financière aux entreprises du secteur	Bangladesh

A noter que des modèles hybrides existent également, avec par exemple les contribuables qui financent l'accès aux déchets et les producteurs qui financent les étapes restantes de traitement et de recyclage.

Chacun de ces modèles présente ses avantages et inconvénients, synthétisés ci-dessous.

<sup>15</sup> Florin et al, Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) : Flows, Quantities, and Management-A Global Scenario, 2019

Figure 6 : Avantages et inconvénients des différents modèles de financement

Coût de recyclage financé par le :	Avantages	Inconvénients	Prérequis
<b>Producteur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implique le producteur dans une logique de conception durable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficile à mettre en œuvre, besoin de coordination entre le secteur privé et le gouvernement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification et définition précise du « producteur » (importateur, distributeur, etc.)</li> <li>• Définition claire des rôles et responsabilités</li> </ul>
<b>Consommateur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplicité de mise en œuvre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perception de hausse des prix visant les consommateurs (aux revenus déjà modestes pour les kits individuels)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposition à payer des consommateurs</li> </ul>
<b>Propriétaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification simple du « payeur »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repousse dans le temps la collecte des fonds nécessaires à la création d'une filière de gestion des déchets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition de l'entité en charge de la collecte du produit en fin de vie</li> </ul>
<b>Gouvernement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible besoin d'investissement des entreprises privés, qui reçoivent des subventions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manque d'efficacité du système sur le long terme</li> <li>• Inertie importante pour la mise en place</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtention de fonds pour financer une filière des déchets solaires (fiscalité, par exemple)</li> </ul>

De façon générale, le financement par les producteurs selon le modèle de REP est la forme de réglementation la plus courante, tant dans les économies développées que dans les économies en développement. Il existe à ce titre une variété de mécanismes pour récolter les fonds : le paiement peut être effectué lors de la mise sur le marché du produit (au travers d'une "éco-redevance" ou d'une "taxe de recyclage avancée"), et/ou au moment du traitement des déchets.

**Le modèle de REP a l'avantage d'impliquer le producteur dans une logique de conception durable - mais il est relativement complexe à mettre en place**, et implique de s'accorder sur une définition précise du « producteur » (qui dans certains cas peut être un importateur, ou encore un distributeur). La plupart du temps, le modèle de REP s'appuie sur la mise en place d'éco-organismes - des structures professionnelles à but non-lucratif. Ces structures sont composées d'un regroupement de producteurs, et permettent la récupération des écotaxes pour financer la collecte et le traitement des déchets. Un éco-organisme compte ainsi plusieurs groupes d'utilisateurs : des producteurs et des prestataires de services de ramassage, de tri et de traitement des déchets. Un éco-organisme peut aussi acheter certains services, de ramassage des déchets notamment, aux communes<sup>16</sup>. A noter cependant que la solution éco-organisme n'est pas obligatoire dans une filière REP, notamment quand celle-ci est viable économiquement - ainsi, les filières des véhicules hors d'usage et des batteries au plomb en France ne sont pas gérées par des éco-organismes.

#### Exemple de la filière des batteries au plomb pour automobiles en France<sup>17</sup>

La loi française précise que les producteurs sont tenus d'organiser, à leurs frais, la collecte et le traitement des batteries en fin de vie. Le plomb recyclé ayant une valeur marchande, il est intéressant économiquement pour les producteurs de développer des partenariats directement avec des acteurs du recyclage. Dans cette logique, la filière des batteries automobiles en France est opérée par un circuit autofinancé.

<sup>16</sup> OECD, La responsabilité élargie du producteur, 2019

<sup>17</sup> Piles et accumulateurs, ADEME, 2014

**Dans le cadre d'une structuration du marché en éco-organismes, ces derniers peuvent intervenir en situation de monopole ou en concurrence.** Un modèle de gestion en concurrence implique d'une part que le volume de déchets générés soit important, représentant ainsi une opportunité économique pour les acteurs du secteur ; d'autre part, il implique une certaine maturité du marché – avec plusieurs acteurs d'entrer en compétition sur des appels d'offres. Aussi, dans le cas où un mécanisme de REP serait adopté pour les déchets solaires au Sénégal, le faible volume de déchets et le manque d'acteurs qualifiés dans le secteur justifierait la mise en place d'un éco-organisme en situation de monopole.

### c) Mesures d'accompagnement des acteurs

**Le secteur informel joue un rôle dominant dans la gestion des déchets électroniques sur le continent**, intervenant principalement dans les activités de collecte et de récupération des déchets. A titre d'exemple et bien qu'il soit difficile d'estimer cette part d'activité, une étude réalisée au Nigéria révèle qu'environ 80 % de la gestion des déchets électroniques se fait par le biais du secteur informel<sup>18</sup>. **Ceci pose un défi majeur dans le cas des déchets dangereux – ces manipulations et traitements étant alors effectués par des acteurs ayant peu ou pas de connaissance des risques environnementaux et sanitaires.** Au Sénégal, le défi se pose également. Plus généralement, l'implication adaptée du secteur informel dans les activités économiques est une des priorités nationales pour le Sénégal. Par exemple dans le cadre du Plan d'Actions Prioritaires (PAP) de la phase II du Plan Sénégal Emergent (PAP-2A), le Gouvernement a retenu des mesures majeures de soutien du secteur, dont la mise en place d'une ligne de garantie de 25 milliards FCFA et d'une subvention directe d'un montant de 50 milliards FCFA<sup>19</sup>.

Des exemples prometteurs de l'implication du secteur informel dans la gestion des déchets émergent néanmoins, tels qu'illustrés ci-dessous.

Figure 7 : Synthèse des initiatives d'inclusion du secteur informel dans la gestion des déchets<sup>20,21</sup>

Initiatives	Détails
Le Kenya a pris en compte le secteur informel dans son modèle de REP	Le gouvernement prévoit de promouvoir les secteurs formel et informel de la gestion des DEEE en finançant leurs initiatives par le biais de plusieurs fonds, et de la mise en place de la REP. Le modèle de REP mis en avant par le Kenya intégrerait des obligations financières au niveau des producteurs, qui financeraient les activités de collecte du secteur informel pour les DEEE, incluant certains déchets solaires
L'Egypte a mis en place un système de paiement pour les collecteurs informels	En Égypte, les collecteurs informels de la filière de recyclage du plastique sont désormais reconnus pour leur travail de "recycleur" et payés par les entreprises pour la collecte des déchets. Ceci fait suite à une collaboration entre les collecteurs de déchets, de grands groupes comme Nestlé / Pepsico / Unilever, et le Gouvernement égyptien

Les tendances observées à travers différents benchmarks indiquent plusieurs principes directeurs pour encadrer l'implication du secteur informel dans la gestion des déchets, qui pourraient nourrir la réflexion de mise en place de la filière de déchets solaires au Sénégal :

<sup>18</sup> Données pour le Nigeria - Woggsborg et al, Nigeria's E-Waste Management : Extended Producer Responsibility and Informal Sector Inclusion, 2019

<sup>19</sup> Gouvernement du Sénégal, PSE PAP2 2019-2023, 2018

<sup>20</sup> GOGLA, E-waste toolkit, 2019

<sup>21</sup> WEF, How tech is helping Egypt's informal recyclers build a circular economy, 2021

- Responsabiliser l'ensemble des acteurs du secteur pour la définition d'une solution (gouvernement, acteurs du privé, représentants du secteur informel) ;
- Définir des méthodes de rémunération pour les acteurs informels (collecteurs et récupérateurs) ;
- Former les acteurs informels aux activités de traitement/recyclage, et notamment communiquer les risques environnementaux et sanitaires associés à ces activités ;
- Intégrer des obligations contractuelles aux acteurs opérant dans l'énergie solaire pour travailler avec les collecteurs informels lors de la fin de vie des équipements.

## 3.2 Implications du scénario retenu

Le scénario stratégique proposé pour la filière de gestion des déchets solaires au Sénégal repose à la fois sur une ambition en termes de développement des capacités de traitement en local, et sur la nécessité d'anticiper les mécanismes financiers requis à sa pérennisation. Aussi, il sera important de s'appuyer sur les enseignements d'une diversité de pays, certains représentant le niveau de maturité cible en termes de marchés et d'acteurs ; d'autres présentant des contextes comparables à celui du Sénégal.

Les tendances et prérequis suivants ressortent des benchmarks étudiés à ce stade, et pourront nourrir la réflexion pour la mise en place de la filière locale de gestion des déchets solaires :

- Les déchets solaires seront vraisemblablement amenés à intégrer le cadre réglementaire plus large de gestion des DEEE
- Bien que plusieurs méthodes de financement de la filière existent, dans la majorité des cas observés ce sont les producteurs qui financent les étapes de collecte et de traitement
  - Un **mécanisme de REP** pourrait ainsi également être envisagé au Sénégal pour les déchets solaires, et en particulier **pour les équipements dont le traitement/recyclage n'est pas économiquement viable en propre**
  - Le faible volume de déchets et le manque d'acteurs qualifiés dans le secteur justifierait de plus la mise en place d'un **éco-organisme en situation de monopole**
  - Dans un premier temps, cet éco-organisme serait unique pour les DEEE et prendrait notamment en compte les principaux équipements solaires (panneaux, batteries au lithium, etc.).
- L'accompagnement des acteurs notamment informels pourra être assuré :
  - Via des mesures juridiques, telles que **l'introduction de clauses contractuelles inclusives du secteur informel**, notamment dans le cadre de l'éco-organisme ;
  - Via des programmes de formation et de financement permettant le **renforcement des capacités et de la résilience** des acteurs

## IV. RECOMMANDATIONS POUR LA FILIERE DE GESTION DES DECHETS SOLAIRES AU SENEGAL

Cette section fait le lien, d'une part entre les conclusions observées lors de l'exercice d'état des lieux de la filière au Sénégal ; d'autre part, entre les implications juridiques et organisationnelles du scénario stratégique proposé pour la gestion des déchets solaires au Sénégal. Des recommandations transverses, puis spécifiques par type d'équipement sont détaillées ci-après. Un plan de cadrage reprend ces différentes recommandations, et les décline en activités concrètes en vue de leur opérationnalisation.

### 4.1 Recommandations transverses

Les déchets solaires générés à horizon 2050 seront dominés par deux types d'équipements (panneaux solaires et batteries plomb et lithium), et leur croissance sera tirée par deux principaux types d'installations (grands champs solaires et kits individuels). Aussi, avant même d'anticiper la gestion des déchets solaires à venir, l'état des lieux faisait ressortir la **nécessité de maîtriser le type et la quantité de déchets arrivant sur le marché** – d'une part, en cadrant le type d'équipements utilisés ; d'autre part, en assurant un niveau minimum de qualité des équipements utilisés (notamment au niveau des kits individuels).

Les déchets solaires n'étant pour l'heure pas pris en compte dans le cadre réglementaire national, **le développement de la filière devra être encadré via l'adaptation des textes juridiques, notamment en termes de financement de la filière et d'organisation du marché**. Ainsi, les rôles et responsabilités en termes de collecte et de gestion des déchets, bien que parfois intégrés aux contrats d'installation, seront à préciser de façon systématique sur l'ensemble des segments ; et l'implémentation de ces obligations à vérifier. Il s'agira par ailleurs d'explorer les synergies possibles avec le décret DEEE en cours, pour une **intégration effective des déchets solaires dans la filière DEEE**.

Enfin, au vu du **caractère à la fois ambitieux et inclusif du scénario proposé pour le développement de la filière**, il sera clé de **l'asseoir sur des mesures d'accompagnement du secteur privé formel comme informel** ; que ce soit en termes de mise à niveau technologique, de développement des capacités, ou de sensibilisation des acteurs **à la dangerosité des équipements**.

*La figure ci-dessous synthétise les principales recommandations pour le développement de la filière, structurées selon leurs implications (i) juridiques et politiques (ii) techniques, et (iii) financières.*



Figure 8 : Recommandations pour une filière durable de gestion des déchets solaires

Une filière de gestion des déchets solaires durable et inclusive				
Implications	Axe 1 : Réduire et maîtriser le volume de déchets à venir	Axe 2 : Poser les jalons organisationnels et juridiques d'une filière de gestion durable	Axe 3 : Accompagner les acteurs du solaire dans une mise en place responsable de cette filière	
Juridiques et politiques	Activité 1 : Assurer la qualité et le bon fonctionnement des équipements solaires dans le contexte opératoire sénégalais	Activité 3 : Définir des rôles et responsabilités clairs par acteur le long de la chaîne de valeur du solaire, ce pour tous les types d'installations	Activité 6 : Conduire un programme de recensement des acteurs informels, sur toutes les activités liées aux équipements couverts par l'éco organisme	
	Activité 2 : Réaliser une étude sur les opportunités et les risques d'harmonisation des équipements solaires (dans l'optique de faciliter l'atteinte de volumes critiques à la rentabilité de la filière)	Activité 4 : Assurer la prise en compte des différents déchets solaires dans les textes juridiques en cours d'élaboration ou de révision  Activité 5 : Accompagner le développement de l'éco-organisme en cours pour la prise en compte des déchets solaires au sein de la filière D3E	Activité 7 : Accompagner l'intégration des acteurs informels dans la filière de gestion des déchets solaires (modèle économique et renforcement des capacités)	
Financières				
Techniques			Activité 8 : Piloter les projets R&D nécessaires au développement de la valorisation locale des déchets solaires pour un traitement local des déchets	Activité 9 : Piloter les études de marché nécessaires pour confirmer le potentiel économique des différentes solutions de traitement local identifiées

## Axe 1 : Réduire et maîtriser le volume de déchets à venir

Cet axe peut être atteint en agissant d'une part sur la **qualité et la durée de vie des équipements**, d'autre part sur **leur harmonisation**. Des pistes d'action relatives à ces deux aspects sont présentées ci-après.

- **Activité 1 :** Introduire les notions de « normalisation », « indice de réparabilité » ou autre mesure permettant **d'imposer** un certain niveau de qualité des équipements commercialisés au Sénégal. Cette mesure permettrait d'assurer que les normes des équipements à l'importation soient contraignantes, pour assurer l'importation de produits de bonne qualité ;
  - Introduire des mesures de **contrôle** de la qualité des équipements importés (kits individuels notamment) en élaborant un système de certification. Des règles spécifiques pourraient être développées pour étiqueter tout équipement solaire vendu sur le marché. De cette façon, l'utilisateur final bénéficierait de la garantie qu'un dispositif particulier qui porte un label officiel répond bien aux exigences des normes de qualité définies. Un code QR (ou code-barres), permettrait de vérifier très efficacement la qualité d'un équipement particulier ;
- **Activité 2 :** Explorer l'opportunité **d'harmoniser** les équipements solaires utilisés à l'avenir, pour faciliter l'atteinte de volumes critiques à la rentabilité de la filière, et faciliter leur gestion – en amont de leur arrivée sur le marché.

## Axe 2 : Poser les jalons organisationnels/juridiques d'une filière de gestion durable

Cet axe vise à encadrer le développement de la filière d'un point de vue juridique, tant dans le **texte** que dans son **application effective**. Il vise également **au pragmatisme et à la durabilité** de la mise en œuvre de la filière, via son **intégration dans les réglementations existantes et en cours**. Il s'agira ainsi de :

- **Activité 3 :** Mettre à jour les textes juridiques et les contrats d'installation pour clarifier les **rôles et responsabilités des acteurs** (démantèlement, collecte, gestion) par type d'installations ; et ainsi définir les prescriptions techniques spécifiques à chaque étape de la gestion des déchets et leur donner une valeur juridique par l'adoption d'un acte réglementaire. Cette mise à jour est nécessaire et opportune avec la révision en cours du code de l'environnement, l'élaboration du décret sur les déchets des équipements électriques et électroniques et l'adoption récente du nouveau code de l'électricité qui dispose que « les modalités de démantèlement et de gestion des déchets issus des installations propres aux énergies renouvelables sont mises en œuvre conformément aux dispositions de la réglementation en vigueur » ; Mettre en place un système permettant la vérification systématique de l'implémentation de ces obligations contractuelles ;
- **Activité 4 :** **Intégrer les déchets solaires dans le décret D3E en cours**. Il conviendra de notamment mettre à jour le domaine d'application pour préciser la prise en compte des équipements solaires ;
- **Activité 5 :** **Accompagner le développement de l'éco-organisme en cours pour la prise en compte des déchets solaires** au sein de la filière D3E. A priori, l'éco-organisme sera développé sur un modèle de monopole, tant que les prérequis pour un modèle concurrentiel ne seront pas atteints.

### Axe 3 : Accompagner les acteurs privés du solaire et de la gestion des déchets, dans une mise en place responsable de cette filière

Le scénario optimisé (et, à terme le scénario ambitieux) vise à **maximiser le traitement des déchets solaires en local, et ainsi les bénéfices en termes de transfert technologique, d'innovation, et d'emploi local (tout en assurant sa rentabilité)**. Aussi, leur succès reposera sur l'accompagnement des acteurs à la fois formels et informels du secteur, à savoir :

- **Activité 6 et 7** : Recenser les **acteurs informels** actifs (par type d'activité et/ou d'équipement), accompagner leur organisation, les sensibiliser aux aspects de dangerosité des équipements, et les intégrer formellement aux activités non dangereuses - en prévoyant par exemple dans les contrats que l'éco-organisme aura à signer avec les opérateurs de la filière des **clauses d'inclusion sociale**, dont la prise en compte du secteur informel dans la mise en œuvre des prestations. Il s'agira aussi de **circonscrire les activités du secteur informel aux activités non dangereuses**.
- **Activité 8** : Mobiliser les **investissements R&D** nécessaires pour un traitement local des déchets, autant que possible. Spécifiquement, l'objectif sera de mettre en œuvre un mécanisme d'incitation et de collaboration pour favoriser la recherche et la réalisation de thèses et autres activités de recherche sur les problématiques liées à la gestion des déchets solaires, et notamment la réutilisation de ces déchets dans d'autres industries ;
- **Activité 9** : Assortir cette montée en compétences technologique **d'études de marché confirmant les débouchés locaux**. Dans un premier temps, il sera important de consulter le secteur privé pour l'identification de plusieurs opportunités répondant à leurs besoins. Ensuite, un facteur clé de succès à considérer pour la pérennité des opportunités mises en avant sera de travailler en étroite collaboration, le long des études, avec les chercheurs pour confirmer les hypothèses de développement.

## 4.2 Recommandations spécifiques par type d'équipement

**Les recommandations transverses s'appliquent à l'ensemble de la filière – cependant, les priorités diffèrent selon le type d'équipement, en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques.**

Ainsi, pour les panneaux solaires, la grande majorité des volumes de déchets prévus n'arrivera qu'à horizon 2045-2050 sur le marché. Les technologies de valorisation des PV n'ont pas été développées à date au niveau du Sénégal, offrant autant d'opportunités d'innovations locales, adaptées aux besoins du marché.

- **La priorité à court terme sera donc de maîtriser le volume de déchets à venir en agissant sur la qualité et la durée de vie des équipements importés.** Aujourd'hui, les normes des équipements à l'importation sont jugées non-contraindantes, ce qui favoriserait l'importation de produits de basse qualité, avec des durées de vie faibles. Dans une logique de montée en gamme au niveau des produits entrants sur le marché, il conviendra d'introduire un « indice de performance » ou autre mesure permettant de vérifier le niveau de qualité des panneaux par rapport aux conditions opératoires en Afrique de l'Ouest. Les fournisseurs seraient ainsi obligés d'indiquer les performances et la durée de vie des panneaux dans les conditions climatiques de l'utilisation locale. Il s'agira aussi d'imposer une certification sur tous les kits solaires importés, pour réduire l'importation de produits non certifiés.

- A moyen terme, **l'accompagnement des acteurs privés sera important à travers la mobilisation d'investissement en R&D** pour le développement de procédés de traitement et l'identification de débouchés, (panneaux broyés dans un premier temps, puis leur recyclage partiel à terme).

Les batteries, quant à elles, représentent un enjeu important de gestion des déchets dès les 10 prochaines années. Aussi :

- Il conviendra **d'accompagner la montée en capacité des acteurs locaux sur le traitement des batteries au plomb** en assurant la prise en compte des volumes à venir
- Pour les **batteries au lithium**, le développement d'une filière locale nécessitera une **coordination avec les autres segments des D3E**, comme les ordinateurs et les téléphones usagers qui contiennent des batteries à forte valeur ajoutée, contrairement à celles utilisées dans les kits individuels du secteur solaire. Cela permettra de mutualiser les investissements en équipements et autres matériels de traitement
- Enfin, concernant les **batteries NiMH**, une étude sera nécessaire afin de confirmer l'existence d'un marché de reprise en Afrique de l'Ouest pour le nickel
- **L'harmonisation potentielle** des batteries amenées à rentrer sur le marché pourra être explorée en parallèle

Enfin, pour les équipements de conversion et de contrôle de l'énergie, ainsi que les équipements secondaires, la priorité sera de poser les jalons d'une filière durable en **assurant leur prise en compte dans le projet de gestion des D3E**.

## 4.3 Plan de cadrage


### Détail des activités


Le tableau ci-dessous précise les modalités d'opérationnalisation des recommandations précédentes.

Ce plan de cadrage est ancré autour d'une **vision de filière durable et inclusive de gestion des déchets solaires, mettant l'accent sur le développement des capacités techniques locales**. A ce titre, les actions prévues permettront non seulement de renforcer l'appui aux acteurs présents, mais aussi d'accompagner l'émergence de nouvelles opportunités et innovations au niveau national, vecteurs de croissance pour le secteur.

Tableau 5 : Détail des activités

#### Légende

Horizon de démarrage de l'activité :  2021  2022  2023 et au-delà

Activités	Horizon	Porteurs	Partenaires
<b>Axe 1 : Réduire et maîtriser le volume de déchets à venir</b>			
<b>Activité 1</b> : Assurer la qualité et le bon fonctionnement des équipements solaires dans le contexte opératoire sénégalais		MPE	ASN CT2S

<b>Sous-activité 1.1:</b> Etablir un référentiel des conditions opératoires pour les installations solaires au Sénégal		<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
<b>Sous-activité 1.2:</b> Développer un « indice de performance » sur la base du référentiel établi. Introduire son utilisation auprès des fournisseurs (qui devront ainsi indiquer la performance et la durée de vie des panneaux en conditions réelles/locales)		<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
<b>Sous-activité 1.3:</b> Actualiser la liste des produits solaires certifiés et introduire des interdictions d'importation ou de vente de produits non certifiés		<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
<b>Sous-activité 1.4:</b> Introduire des mesures de contrôle de qualité/conformité des équipements, à travers l'étiquetage (QR code ou autre) de tout équipement solaire vendu sur le marché		<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
<b>Activité 2:</b> Réaliser une étude sur les opportunités et les risques d'harmonisation des équipements solaires à utiliser à l'avenir (dans l'optique de faciliter l'atteinte de volumes critiques à la rentabilité de la filière, et ainsi faciliter la gestion de ces équipements)		ANER ASER	
<b>Axe 2 : Poser les jalons organisationnels et juridiques d'une filière de gestion durable</b>			
<b>Activité 3:</b> Définir des rôles et responsabilités clairs par acteur le long de la chaîne de valeur du solaire, ce pour tous les types d'installations; mettre en place un système permettant la vérification de l'implémentation des obligations contractuelles		<i>Détail ci-dessous</i>	<i>Détail ci-dessous</i>
<b>Sous-activité 3.1:</b> Finaliser la révision du code de l'électricité, qui permettra d'intégrer dans les contrats d'achat d'électricité de la SENELEC les modalités de démantèlement des sites et de gestion des déchets générés, pour les grands champs solaires raccordés au réseau		MPE	
<b>Sous-activité 3.2:</b> Intégrer les modalités de gestion du matériel en fin de vie, dans les contrats de gestion des ERIL		ASER	ANER COPERES
<b>Sous-activité 3.3:</b> Intégrer les modalités de gestion de la fin de vie des installations, dans les documents contractuels relatifs aux installations industrielles et commerciales, aux minicentrales et aux kits individuels		ANER	ASER COPERES
<b>Activité 4:</b> Assurer la prise en compte des différents déchets solaires dans les textes juridiques en cours d'élaboration ou de révision		<i>Détail ci-dessous</i>	<i>Détail ci-dessous</i>
<b>Sous-activité 4.1 :</b> Prévoir dans les dispositions relatives au champ d'application du décret sur les e-déchets la prise en compte des équipements solaires		MEDD	MPE GGGI

<b>Sous-activité 4.2 :</b> Prendre en compte les déchets solaires dans le chapitre sur les déchets dangereux prévu dans le code de l'environnement en cours de révision		MEDD	MPE
<b>Activité 5 :</b> Accompagner le développement de l'éco-organisme en cours pour la prise en compte des déchets solaires au sein de la filière D3E		MEDD	MPE GGGI
<b>Sous-activité 5.1 :</b> Déterminer le statut juridique de l'éco organisme, son périmètre (équipements couverts), ses principales missions, et ses modalités de gouvernance – à mutualiser avec le développement en cours de l'éco-organisme pour les D3E		<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
<b>Sous activité 5.2 :</b> Définir le montant de(s) (l')écotaxe(s) pour les déchets solaires (selon la valeur de l'équipement et son coût de recyclage, tout en veillant à ne pas introduire de distorsions de marché)		<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
<b>Sous-activité 5.3 :</b> Définir les modes de collecte (quels acteurs) et de réallocation de(s) écotaxes(s) à l'éco-organisme, de sorte à financer les activités de la filière		<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
<b>Axe 3 : Accompagner les acteurs privés dans une mise en place responsable de cette filière</b>			
<b>Activité 6 :</b> Conduire un programme de recensement des acteurs informels, sur toutes les activités liées aux équipements couverts par l'éco organisme		ANSD	MEDD
<b>Activité 7 :</b> Accompagner l'intégration des acteurs informels dans la filière de gestion des déchets solaires (modèle économique et renforcement des capacités)		<i>Détail ci-dessous</i>	<i>Détail ci-dessous</i>
<b>Sous-activité 7.1 :</b> Définir le périmètre d'action autorisé par le secteur informel (par étape de la chaîne de valeur – par ex : collecte, pré-traitement – et/ou type d'équipement)		MEDD	MATS MEFPAI
<b>Sous-activité 7.2 :</b> Intégrer les modalités de rémunération des activités du secteur informel dans le cahier des charges entre l'éco-organisme et ses opérateurs		MEDD	MATS GGGI
<b>Sous-activité 7.3 :</b> Définir et implémenter les formations requises (sensibilisation à la dangerosité des déchets notamment)		MEFPAI	MATS MEDD MPE
<b>Activité 8 :</b> Piloter les projets R&D nécessaires au développement de la valorisation locale des déchets solaires pour un traitement local des déchets		MESRI	COPERES MPE MEDD
<b>Sous-activité 8.1 :</b> Mettre en œuvre un mécanisme d'incitation et de collaboration pour favoriser la recherche appliquée sur la filière de valorisation des déchets solaires		<i>Idem</i>	<i>Idem</i>

<b>Sous-activité 8.2 :</b> Accompagner la mise en place des centres de traitement des différents types de déchets (définition du périmètre d'activité, réalisation des appels d'offre, etc.)		<i>Idem</i>	<i>Idem</i>
<b>Activité 9 :</b> Piloter les études de marché nécessaires pour confirmer le potentiel économique des différentes solutions de traitement local identifiées (dont réutilisation dans d'autres industries)		MESRI	COPERES MPE MEDD

Le rapport d'état des lieux a permis de mettre en lumière le fait que les rôles et responsabilité en termes de collecte et de gestion des déchets, bien que parfois intégrés aux contrats d'installation, sont à préciser de façon systématique sur l'ensemble des segments. Dans l'optique de clarifier ces besoins, un mapping préliminaire des rôles à confirmer dans les contrats B2B et dans les clauses d'éco-organisme a été réalisé (activités 3, 5 et 7).



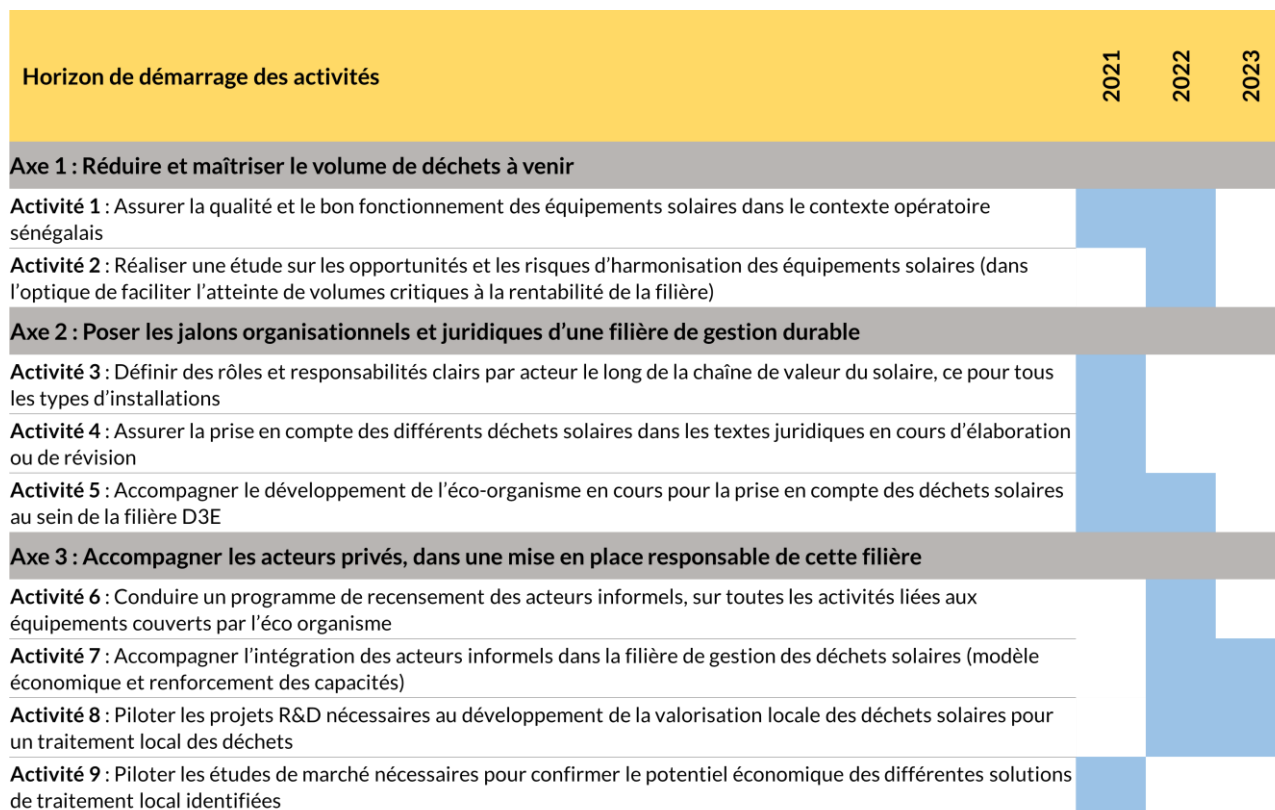
Tableau 6 : Mapping préliminaire des rôles le long de la chaîne de valeur

Segmentation	Installation	Maintenance	Démantèlement	Collecte	Réutilisation / Recyclage
<b>A) Grands champs solaires raccordés au réseau</b>	Délégées par la SENELEC et le MPE à des constructeurs et opérateurs de centrales		Responsabilités définies sur la base du type de contrat :  – Contrat BOT : démantèlement assuré par la SENELEC – Contrat BOO : démantèlement assuré par le IPP	A assurer par :  – Les acteurs du recyclage, qui pourront venir collecter les équipements les concernant – L'UCG, qui pourra mettre à disposition des points de collecte et de tri	– Panneaux solaires : centres de broyage et de recyclage à mettre en place – Batteries au plomb : deux acteurs du recyclage déjà présents – Batteries au lithium et NiMH : centres de recyclage à mettre en place – Equipements secondaires et de contrôle/gestion de l'énergie : à intégrer à la filière D3E existante*
<b>B) Lampadaires solaires</b>	Délégées par l'ANER à des acteurs privés, sur une période de six ans		<i>A spécifier dans les contrats</i>	Des partenariats seront à mettre en place avec les acteurs en charge du démantèlement des installations, dans les deux cas.	*Du fait de la dangerosité des équipements, les activités du secteur informel pourraient être circonscrites à la <u>réutilisation</u> des équipements secondaires (collectés au niveau des points de collecte)
<b>C) Installations industrielles et commerciales</b>	Réalisées par des sociétés spécialisées, à la demande des propriétaires des installations		A la charge des propriétaires		
<b>D) Mini centrales</b>	Délégées aux opérateurs sur attribution de l'ASER		<i>A spécifier dans les contrats</i>		
<b>E) Kits individuels</b>	Assurées par les réseaux de distributeurs formels (via leurs réseaux d'entrepreneurs), ainsi que par des installateurs/réparateurs informels		<i>Incitations à mettre en place</i>	– A assurer par l'UCG, qui pourra mettre à disposition des points de collecte et de tri	

## Séquencement des activités

La figure ci-dessous reprend les activités principales selon leur horizon temporel et pourra servir de feuille de route pour la mise en œuvre de la stratégie.

Figure 9 : Séquencement des activités



## V. ANNEXES

### Annexe 1 : Benchmarks

#### a) Directive européenne sur la gestion des DEEE

La directive européenne sur la gestion des déchets solaires est basée sur le principe de responsabilité élargie des producteurs<sup>22</sup>.

- **Modalités opérationnelles** : Pour la réalisation des tâches telles que la collecte, le tri, le démantèlement, le recyclage ou l'élimination des déchets électroniques, les producteurs doivent adhérer à un système collectif ou peuvent mettre en place leur propre système de traitement. Par ailleurs, les producteurs sont tenus d'établir un rapport annuel sur les panneaux vendus, et repris pour traitement. Les producteurs doivent également présenter les résultats du traitement des déchets (tonnes récupérées / recyclées / éliminées par type : verre, plastiques mixtes, métaux).
- **Modalités financières** : Par le biais d'une garantie financière, les producteurs sont tenus de couvrir le coût de la collecte et du recyclage des déchets solaires. Ils sont responsables du financement des points de collecte publics et des installations de traitement de premier niveau.

Le détail des responsabilités à travers la chaîne de valeur de la gestion des déchets est présenté ci-dessous.

Figure 9 : Exemple de répartition des responsabilités et des coûts selon la directive européenne sur les DEEE<sup>23</sup>

Chaîne de valeur	Responsabilité opérationnelle	Responsabilité financière	Détails
Gisement	Consommateurs	Gratuit	<p>Les consommateurs se débarrassent gratuitement de leurs déchets dans les infrastructures de collecte existantes (municipalités ou autres infrastructures spécialisées). Les coûts d'infrastructure (mise en place et fonctionnement) sont supportés par les municipalités.</p> <p>Dans certains cas, les producteurs ou leur programme de conformité remboursent une partie des coûts opérationnels (par exemple, aux Pays-Bas et en Belgique), ou récompensent les performances de collecte efficace (par exemple, en Italie).</p>

<sup>22</sup> GOGLA, E-waste toolkit, 2019

<sup>23</sup> ACE-TAF, E-Waste policy handbook, 2019

Chaine de valeur	Responsabilité opérationnelle	Responsabilité financière	Détails
Collecte	Collecteurs et recycleurs	Producteurs	Les prestataires de services (sociétés de logistique sous contrat avec les producteurs) sont propriétaires des conteneurs.  Dans certains cas, les programmes de conformité ont acheté des conteneurs (par exemple, en Italie, pour la collecte des lampes).
Transport	Collecteurs et recycleurs	Producteurs	Les prestataires de services (sociétés de logistique engagées par les producteurs/systèmes de conformité) conviennent contractuellement du prix des services fournis.
Traitement	Recycleurs	Producteurs	Les usines de traitement (engagées par les producteurs/systèmes de conformité) conviennent contractuellement du prix des services fournis (coût net de traitement, par type de déchets)
Application de la loi	Gouvernement et producteurs	Gouvernement	La mise en œuvre relève de la responsabilité du gouvernement et des agences spécialisées (qui sont autorisées à émettre des amendes).
Communication	Gouvernement et producteurs	Gouvernement et producteurs	La sensibilisation est généralement de la responsabilité des États membres. En Autriche, la chambre de compensation est chargée de fixer une redevance pour les coûts supportés par les communes ou les associations de communes pour assurer l'information harmonisée des consommateurs finaux en fonction du nombre de résidents ; les coûts sont supportés par les programmes de conformité en fonction de la part de marché. Pour 2013, elle s'élevait à 0,055 €/habitant (environ 460 000 euros).

## b) Responsabilité élargie du producteur pour les DEEE au Kenya

**Le Kenya est l'un des marchés les plus dynamiques pour l'industrie solaire en Afrique**, et le pays a entrepris un vaste programme pour la gestion des déchets, et a un projet de loi pour la mise en place de la REP sur les DEEE. Le modèle de REP implique des obligations opérationnelles et financières pour les producteurs, en tenant compte des coûts de collecte et de traitement.

- **Modalités opérationnelles** : Le comité directeur national définit le cadre de mise en œuvre et gère le registre national des DEEE. Il décrit les responsabilités de chacune des parties prenantes et les contrôles, interdictions et sanctions en matière d'importation.

- **Modalités financières** : Le modèle de REP entraîne des obligations financières pour les producteurs. Le principal coût concerne la collecte et le traitement des déchets électroniques ayant une valeur financière négative.

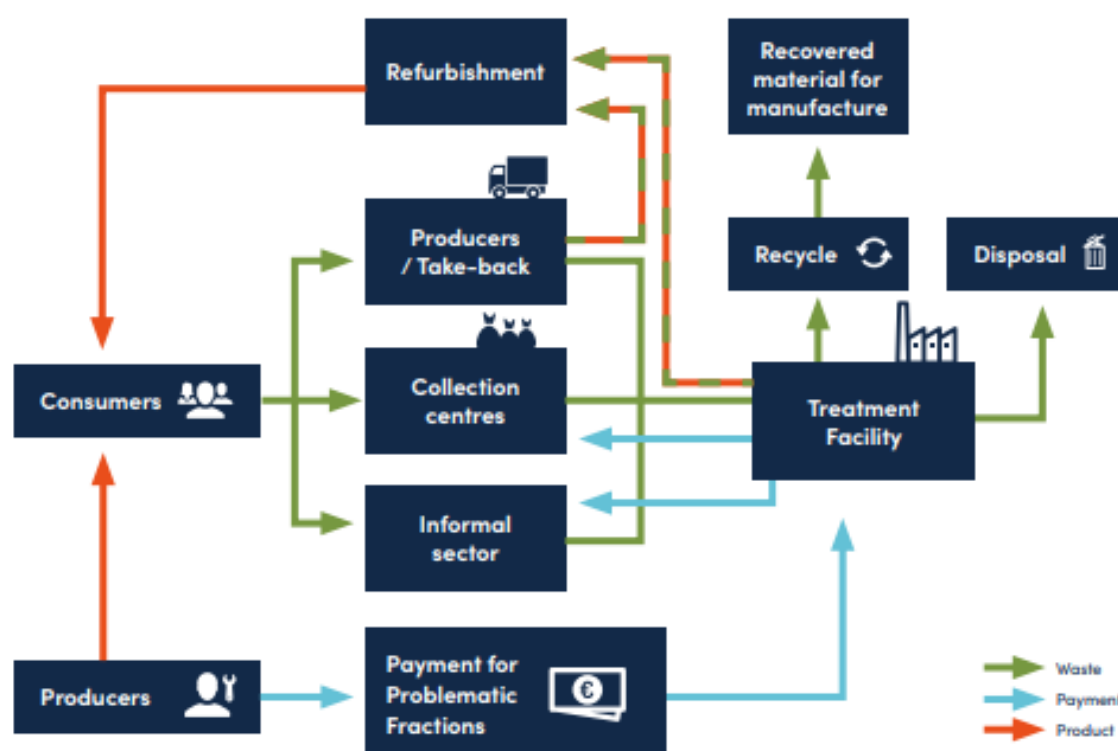
Le détail des responsabilités à travers la chaîne de valeur de la gestion des déchets est présenté ci-dessous.

Tableau 7 : Exemple de répartition des responsabilités et des coûts pour le modèle REP du Kenya<sup>24</sup>

Chaîne de valeur	Responsabilité opérationnelle	Responsabilité financière	Détails
Gisement	Consommateurs	Non défini	<p>Un producteur de déchets doit veiller à ce que les DEEE soient séparés des autres formes de déchets et soient acheminés vers des entreprises de réparation, des centres de collecte désignés ou des recycleurs agréés.</p> <p>Les producteurs peuvent faciliter la collecte de reprise</p>
Collecte	Centres de collecte et producteurs	Producteurs	<p>Les centres de collecte doivent être enregistrés auprès de la NEMA et fonctionner selon les normes.</p> <p>Les producteurs doivent s'assurer que les déchets sont déposés dans une installation de traitement agréée, et financer le traitement des fractions problématiques par l'installation de traitement agréée.</p>
Transport	Non défini	Non défini	Non applicable
Traitement	Recycleurs	Producteurs	<p>Les installations de recyclage doivent être agréées et les recycleurs doivent donner la priorité à la réparation des appareils plutôt qu'au recyclage.</p> <p>Un producteur doit, pour son type de produit et en fonction de sa part de marché, financer le traitement des fractions problématiques.</p>

<sup>24</sup> GOGLA, E-waste Toolkit Module 4 Briefing Note, 2019

Figure 10 : Schéma organisationnel de la filière des DEEE au Kenya réalisé par GOGLA<sup>25</sup>



### c) Filière de recyclage des batteries usagées au Maroc

- **Modalités organisationnelles :**

- Les producteurs de batteries ont créé un GIE pour mettre en place une filière de recyclage ;
- Un accord a été mis en place entre le Gouvernement et les principaux acteurs nationaux de fabrication de batteries (Almabat, Techna et Afrique câbles) ;
- La collecte des batteries usagées est effectuée par des collecteurs agréés avec un découpage régional validé par les partenaires de la filière ; et le regroupement et le traitement des batteries se fait dans des installations agréées.

- **Financement :**

- L'acheteur d'une nouvelle batterie est obligé de restituer la batterie usée pour bénéficier d'un abattement ;
- Application d'une éco contribution sur les batteries produites et importées, pour couvrir les coûts de collecte des batteries usées et du financement de la filière. L'éco contribution sera versée à une structure agréée (GIE ou organisme de gestion des batteries usées) pour la gestion de la filière, à hauteur de 22 Dirham (2 Euro environ) par batterie.

<sup>25</sup> GOGLA, E-waste Toolkit Module 4 Briefing Note, 2019

Tableau 8 : Exemple de répartition des responsabilités et des coûts pour la gestion des batteries au Maroc<sup>26</sup>

Chaîne de valeur	Responsabilité opérationnelle	Responsabilité financière	Détails
Gisement	Consommateurs	Gratuit	Les consommateurs sont incités financièrement à retourner les batteries usagées
Collecte	Collecteurs agréés	Producteurs	Collecte des batteries usagées par des collecteurs agréés avec un découpage régional validé par les partenaires de la filière ; et regroupement et traitement / valorisation des batteries dans des installations agréées
Transport	Collecteurs et recycleurs	Producteurs	Des transporteurs agréés sont utilisés pour acheminer les batteries dans les centres de traitement
Traitement	Recycleurs	Producteurs	L'écocontribution sur les batteries produites et importées permet de couvrir les coûts d'opération de la filière

#### d) Recyclage des batteries des kits individuels au Bangladesh<sup>27</sup>

Avec la société publique de financement des infrastructures IDCOL (*Infrastructure Development Company Limited*) qui travaille avec plus de 50 organisations non-gouvernementales, le Gouvernement du Bangladesh a mis en place un éco-organisme sur la gestion des batteries des kits individuels déployés dans le cadre de l'électrification du pays.

- **Modalités organisationnelles :**

- Eco-organisme : mise en place d'un cadre d'adhésion (mesures restrictives) sur la production, la collecte et le recyclage des batteries.
- Fonctionnement de l'éco-organisme :
  - La batterie jouit d'une garantie d'une durée de vie de 5 ans. Trois mois avant la fin de vie, les organisations informent leurs consommateurs et ceux-ci décident s'ils veulent continuer à les utiliser ou les recycler.
  - A la demande des consommateurs de recycler leurs batteries, une organisation partenaire les récupère pour 3-5 EUR l'unité. Cette organisation livre les batteries à la division régionale des fabricants de batteries. La division régionale achemine les batteries vers les centres de traitement et de recyclage.

- **Financement :**

- Les distributeurs de kits individuels reçoivent de l'aide financière de la société publique de financement des infrastructures IDCOL. IDCOL est financé par la Banque mondiale, le KfW et la banque de développement asiatique (Asian Development Bank)

<sup>26</sup> ACE, 2019

<sup>27</sup> A. Batteiger, Off-Grid Electrification, and its Impacts on the Waste Management System – the Case of Bangladesh



- L'IDCOL verse jusqu'à 10 \$ US pour chaque batterie échangée dont la garantie a expiré, comme incitation pour les fabricants-recycleurs de batteries et les organisations partenaires. L'IDCOL effectue un suivi des installations de recyclage tous les six mois (vérification des aspects environnementaux, santé et sécurité) et organise des sessions d'information tous les trimestres avec les fabricants et recycleurs de batteries.<sup>28</sup>

## Annexe 2 : Hypothèses de calcul des potentiels économiques

### Hypothèses générales de transport local

- Nous avons estimé la distance entre Dakar et les différentes régions : Diourbel, Fatick, Kaffrine, Kaolack, Kédougou, Kolda, Louga, Matam, Saint-Louis, Sédhiou, Tambacounda, Thiès, Ziguinchor ; puis avons considéré la distance moyenne des régions par rapport à Dakar : 350km.
- Les coûts des équipements ont été multipliés par 1,60 pour prendre en compte les coûts de transport et dédouanement.

### Hypothèses de prix de revente des matériaux

- Aluminium : 450kFCFA/tonne
- Cuivre : 2950kFCFA/tonne
- Cartes onduleurs : 350kFCFA/tonne
- Câbles : 350KFCFA/tonne

## Détails pour les différentes options de gestion et de valorisation

### 1) Export des panneaux pour traitement à l'étranger

#### Hypothèses :

- Transport international : La simulation porte sur le coût d'un conteneur 40 pieds chargé de 15 Tonnes de panneaux solaires
- Démantèlement d'une centrale : Moyenne de 25 panneaux démantelés par personne et par jour, soit 500kg par personne et par jour (moyenne de 20kg par panneau)

Tableau 9 : Détails du potentiel économique de l'export des panneaux solaires pour traitement à l'étranger

Types de déchets	Coûts			Revenus
	Collecte	Transport	Traitement	
Export des panneaux pour traitement à l'étranger	Coût de collecte : -50kFCFA/tonne Coût de démantèlement d'une centrale : -62.5kFCFA/tonne	Coût de transport international : Export par bateau : -168k FCFA/tonne	Coûts nets de traitement : -144k FCFA/tonne (Basé sur les coûts de traitement de PV cycle, un éco-organisme à but non-lucratif / a priori à la charge d'acteurs sénégalais)	N/A

<sup>28</sup> A. Batteiger, Off-Grid Electrification, and its Impacts on the Waste Management System – the Case of Bangladesh

**Coût total : -424kFCFA/tonne**

## 2) Pré-traitement local des panneaux

Hypothèses :

- Rappel de la composition d'un panneau :
  - 68% de verre
  - 10% d'aluminium
  - 15% cellules photovoltaïques
  - 3% câbles
  - 4% déchets divers
- Terrain requis : 3000 m2 dont 1000m2 construits et équipés
- Equipements requis :
  - Broyeur pour panneaux photovoltaïques
  - Broyeur et séparateur de métaux pour les câbles

Tableau 10 : Détails du potentiel économique du pré-traitement local des panneaux

Types de déchets	Coûts			Revenus
	Collecte	Transport	Traitement	
Pré-traitement local des panneaux	<b>Coût de démantèlement :</b> -62.5kFCFA/tonne <b>Coût de collecte :</b> -50kFCFA/tonne	N/A	<b>Coûts d'investissement</b> Machines : 70MFCFA Terrain + construction et aménagement : 330MFCFA  <b>Coûts d'opération :</b> -72kFCFA / tonne (Incluant les frais de mise en décharge des panneaux solaires broyés)	<b>Valeur de revente des différentes fractions par tonne de PV (valorisées localement) :</b> Aluminium : 45k FCFA  Câbles : 9,8kFCFA

**Total des coûts : -185kFCFA/tonne**

**Total des revenus : 55kFCFA/tonne**

**Rentabilité : - 130kFCFA/tonne**

## 3) Recyclage partiel des panneaux en local

Hypothèses :

- Equipements requis :
  - Ligne de désincarcération des panneaux et séparation des connectiques
  - Ligne de séparation du verre du panneau des cellules photovoltaïques
  - Poste transformateur courant
- Terrain requis : 3000 m2 dont 1000m2 construits et équipés

Tableau 11 : Détails du potentiel économique du recyclage partiel des panneaux en local

Types de déchets	Coûts			Revenus
	Collecte	Transport	Traitement	
Recyclage complet des panneaux localement	<p>Coût de démantèlement : -</p> <p>62.5kFCFA/tonne</p> <p>Coût de collecte -50kFCFA/tonne</p>		<p><b>Coûts d'investissements</b> Équipement : 1Md FCFA</p> <p><b>Coûts d'opération</b> -68kFCFA / tonne</p> <p>(Incluant les coûts d'export des cellules photovoltaïques et de mise en décharge du verre)</p>	<p><b>Valeur de revente des différentes fractions par tonne de PV, valorisées localement :</b> Alu : 45kFCFA Câbles :9,8kFCFA</p> <p><b>Valeur de revente des différentes fractions par tonne de PV, valorisées à l'étranger :</b> Cellules PV :7,5kFCFA</p>

Total des coûts : -190kFCFA/tonne

Total des revenus : 65kFCFA/tonne

Rentabilité : - 125kFCFA/tonne

#### 4) Recyclage local des batteries au plomb

Deux acteurs sont déjà présents au Sénégal concernant le recyclage et la valorisation des panneaux solaires : Gravita qui fait du recyclage de plomb, et Solace qui fait de la remanufacturation.

Tableau 12 : Détails du potentiel économique du recyclage des batteries au plomb

Types de déchets	Coûts			Revenus
	Collecte	Transport	Traitement	
Batteries au plomb	<p>Coût de démantèlement : -12,5kFCFA/tonne</p> <p>Coût de collecte -10kFCFA / tonne</p>		<p>Recyclage opéré par Gravita</p> <p>Récupération pour refabrication de batterie opéré par Solace</p>	<p><b>Valeur de reprise :</b> Gravita : 250k FCFA/t Solace : 275kCFA/t</p>

Total des coûts : -25kFCFA/tonne

Total des revenus : 263kFCFA/tonne

Rentabilité : 240kFCFA/tonne

## 5) Export batteries au lithium/NiMH pour recyclage

Plusieurs coûts sont à considérer pour estimer le potentiel économique du recyclage des batteries.

### Hypothèses :

- Les coûts de collecte locale seront mutualisés avec la collecte des panneaux, prenant en compte que les batteries seront démontées en même temps que les panneaux. De même pour les coûts de démantèlement.
- Nous considérons les coûts d'export pour le transport d'un conteneur 40 pieds pour déchets dangereux, avec 5 tonnes de batteries
- Les batteries lithium Ion sont considérées à risque (explosion) et nécessitent un emballage spécifique dont les coûts sont pris en compte
- Coûts opérationnels de traitement, du même ordre de grandeur pour les batteries lithium (prises comme référence) et pour les batteries NiMH – hypothèse qui sera à confirmer

Tableau 13 : Détails du potentiel économique du recyclage des batteries au lithium/NiMH à travers l'export

Types de déchets	Coûts			Revenus
	Collecte	Transport	Traitement	
Batteries au lithium/NiMH	<b>Coût de démantèlement :</b> - 12,5kFCFA/tonne  <b>Coût de collecte</b> -10kFCFA / tonne	<b>Coût d'export :</b> 605kFCFA/tonne	<b>Coût de traitement à l'étranger :</b> 1,160MFCFA/tonne (a priori à la charge d'acteurs sénégalais)	N/A

**Coût total : -1,7MFCFA/tonne**

## 6) Recyclage local batteries lithium/NiMH

### Hypothèses :

- Equipements requis :
  - Ligne de recyclage des batteries pour extraction des matières :
    - Batteries Lithium
      - Poudre noire Cobalt-Lithium-Manganèse : 70%
      - Mélange Cuivre et Aluminium : 15%
      - Fer : 5%
      - Déchets divers
    - Batteries NiMH
      - Nickel : 18 %
      - Fer : 15 %
      - Lanthanum : 12 % (non valorisé)
      - Déchets divers (papier, plastique, etc.)
  - Poste de transformation de courant
- Coûts opérationnels de traitement, du même ordre de grandeur pour les batteries lithium (prises comme référence) et pour les batteries NiMH – hypothèse à confirmer

Tableau 14 : Détails du potentiel économique du recyclage des batteries au lithium localement

Types de déchets	Coûts			Revenus
	Collecte	Transport	Traitement	
Batteries au lithium/NiMH	<b>Coût de démantèlement :</b> -12,5 kFCFA/tonne  <b>Coût de collecte</b> -10kFCFA / tonne	N/A	<b>Coût équipement + transport + formation :</b> 1,3Md FCFA <b>Coûts d'opérations :</b> -595kFCFA/tonne (incluant frais d'export de la blackmass)	<b>Lithium - Blackmass:</b> 174kFCFA/tonne <b>Mix Alu-Cuivre (15%) :</b> 217,5k FCFA <b>Fer (5%) :</b> 15k FCFA  <b>NiMH</b> <b>Nickel (18 %) :</b> 467k FCFA/tonne <b>Fer (15 %) :</b> 45k FCFA/tonne

Total des coûts : -620k FCFA / tonne

Total des revenus : 440k FCFA / tonne

Rentabilité : -177k FCFA / tonne

## 7) Equipements de conversion et de contrôle de l'énergie

### Hypothèses :

- Composition d'un onduleur :
  - Acier : 53%
  - Aluminium : 8%
  - Cartes : 9%
  - Plastique : 30%

Tableau 15 : Détails du potentiel économique du recyclage des équipements de conversion et de contrôle de l'énergie

Types de déchets	Coûts			Revenus
	Collecte	Transport	Traitement	
Onduleurs	<b>Coût de démantèlement :</b> - 12,5kFCFA/tonne  <b>Coût de collecte</b> -10kFCFA / tonne	N/A	<b>Coûts de traitement :</b> -62k FCFA / tonne (Incluant les frais d'export des cartes et de gestion du plastique)	Pour une tonne d'onduleur : <b>Acier :</b> 26.5kFCFA <b>Alu :</b> 32k FCFA

Le recyclage des onduleurs n'est pas une filière rentable. Elle ne nécessite pas d'investissements supplémentaires en équipement par rapport aux filières de recyclage de DEEE existante, en revanche elle nécessitera des subventions.

Total des coûts : -84kFCFA / tonne

Total des revenus : 58kFCFA / tonne

Rentabilité : -26kCFA / tonne

#### 8) Equipements secondaires

Tableau 16 : Détails du potentiel économique du recyclage des équipements secondaires

Types de déchets	Coûts			Revenus
	Collecte	Transport	Traitement	
Téléviseurs	Coût de collecte -10k FCFA / tonne	N/A	Coûts de traitement : • Total des coûts : -59k FCFA / tonne	Pour une tonne de téléviseurs : 116k FCFA  Fer : 40k FCFA Alu : 24k FCFA Plastique : -2,5k FCFA Ecran : -52k FCFA Cartes : 108k FCFA
Lampes	N/A		Coût de traitement et coût d'export : 500 FCFA / lampe	N/A

Pour les téléviseurs :

- Total des coûts : -59k FCFA / tonne
- Total des revenus : 116k FCFA / tonne
- Rentabilité : 57k FCFA / tonne

Pour les lampes :

- Total des coûts : -500 FCFA / lampe